

PEMODELAN FLUKTUASI NITROGEN (Nitrit) PADA ALIRAN SUNGAI PALU

Muhammad Aswadi *

Abstract

This research aims to know; standard of water quality of Palu River, especially of Nitrogen compound (nitrite), to examine what the Nitrite appropriate of standard of water quality that prerequisite for drinking water, bathing and washing. Make of Simulation of Nitrogen fluctuation along of the Palu River is based of sampling distance of estuary (determined beach line of Palu Gulf) and based of sampling time (month). Research methods are field observation, and laboratory analysis, furthermore the data is analyzed (processed) by a statistic method (simple regression model), to make of simulation of en fluctuation along Palu River.

Content of Nitrite in the water of Palu River are still relevant with the water quality standard as drinking water, but before to drink the water, the water must be previous processed. From the result research, Nitrite on the July 2005 is 0,007 mg/L that exceeds threshold limit of water "Kelas 1", however it is still received. Nitrite compound simulation shows that at the nearest distance of estuary, nitrite content is higher. Based on the time (month) as six months of research in 2006th, highest value of nitrite content in August and July, and smallest content in April. Variable of sampling distance from the estuary (Palu Gulf) (as an independent variable) influences increasing and decreasing Nitrite content (dependent variable). But sampling time (month) variable (independent variable) doesn't clearly influence moving Nitrite content along Palu River flow.

Keywords: Nitrite, Palu river, Nitrogen

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui; parameter kualitas air Sungai Palu, khususnya senyawa nitrogen (nitrit), menguji apakah kandungan nitrit tersebut memenuhi standar baku mutu air yang dipersyaratkan untuk air minum. Mensimulasikan fluktuasi persebaran nitrit sepanjang Sungai Palu berdasarkan jarak sampling dari muara sungai (ditentukan pada garis pantai Teluk Palu) dan didasarkan pada waktu (bulan) pengambilan sampel. Metode Penelitian yang dilakukan adalah observasi langsung dan pengamatan laboratorium, kemudian dinalisis dengan pendekatan statistik (model regresi sederhana), untuk mensimulasikan fluktuasi Nitrogen (nitrit) sepanjang aliran Sungai Palu.

Kandungan Nitrit dalam air Sungai Palu masih memenuhi standar Baku Mutu yang dipersyaratkan untuk keperluan air minum, tetapi perlu pengolahan terlebih dahulu sebelum diminum. Dari hasil pengamatan, pada bulan Juli 2005 Nitrit sebesar 0,007 mg/L melampaui ambang batas air Kelas 1, namun masih dalam batas toleran. Simulasi nitrit memeprilihatkan bahwa; pada jarak yang semakin dekat dengan garis pantai (Teluk Palu) konsentrasi Nitrit semakin tinggi, semakin ke arah hulu semakin kecil. Berdasarkan bulan selama 6 bulan penelitian dalam tahun 2006, kandungan Nitrit tertinggi pada bulan Agustus dan Juli, konsentrasi terendah pada bulan April. Faktor jarak dari muara sungai (Teluk Palu) berhubungan sangat erat dengan kenaikan/penurunan konsentrasi Nitrit. Sedangkan variabel waktu (bulan) pengambilan sampel, tidak memberikan pengaruh nyata terhadap perubahan konsentrasi Nitrogen (nitrit) sepanjang aliran Sungai Palu.

Kata kunci: Nitrit, Sungai Palu, Nitrogen

1. Pendahuluan

Indonesia dengan sumber daya air yang cukup besar, baik air permukaan maupun air bawah permukaan merupakan karunia Tuhan

yang perlu dilestarikan dari gangguan pencemaran dan kerusakan. Pada umumnya kualitas air dari suatu sumber air permukaan dapat dilihat atau diamati dari kandungan oksigen terlarutnya (DO), kebutuhan biologi

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

akan oksigen (BOD) dan kebutuhan kimiawi akan oksigen (COD). Berdasarkan parameter tersebut, kualitas air yang baik adalah air yang mengandung cukup oksigen (Peirce, Weiner dan Vesilind, 1998). Pada kenyataannya terdapat beberapa faktor yang sangat mempengaruhi keseimbangan kandungan oksigen dalam air antara lain kehadiran unsur nitrogen dalam air (Muller-Wohlfeil, et al., 2002).

Kandungan nitrogen dalam badan air baik dalam bentuk Amonia (NH_3), Nitrat (NO_3) dan Nitrit (NO_2) sangat berpengaruh terhadap kualitas suatu badan air. Siklus-siklus nitrogen yang terjadi dalam suatu badan air terkadang mengkonsumsi paling banyak oksigen terlarut dibandingkan dengan reaksi-reaksi biokimia lain yang terjadi dalam air.

Amonia adalah polutan paling penting pada air baku untuk sumber air minum, kehadirannya menurunkan efisiensi dengan chlor. Dalam bentuk NH_3 dapat membahayakan makhluk hidup, dapat menyebabkan keracunan bila dikonsumsi antara 0,01 – 2,0 mg/l tergantung pada faktor-faktor lingkungan seperti pH dan temperatur.

Sungai Palu yang memiliki anak sungai tidak kurang dari dua puluh anak sungai, kandungan Nitrogennya (terutama nitrit) diperkirakan melebihi ambang batas kualitas air untuk air minum atau kualitas air golongan (kelas) I (PP No. 82, Tahun 2001), ini didasarkan atas asumsi bahwa kegiatan pertanian, perkebunan dan peternakan di atas hulu Sungai Palu atau di sekitar DAS, serta aktivitas penduduk di sekitar DAS yang membuang limbah (padat dan cair) secara langsung ke badan sungai tanpa *treatment* terlebih dahulu. Aktivitas pertanian dan perkebunan yang menggunakan pupuk buatan (urea) yang kadar nitrigennya sangat tinggi. Area persawahan yang luasnya mencapai ribuan hektar, saluran irigasinya bermuara ke Sungai Palu. Indikasi lain yang menunjukkan bahwa senyawa nitrogen (amonia, nitrat dan nitrit) terdapat di badan air Sungai Palu

adalah pertumbuhan tanaman air di sepanjang aliran sungai.

Hingga saat ini, Sungai Palu telah dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti untuk mandi, irigasi, dan sekarang ini direncanakan untuk dimanfaatkan sebagai sumber air minum dengan sistem gravitasi oleh PDAM Kota Palu dan PDAM Kabupaten Donggala. Krisis air bersih (air minum) akhir-akhir ini telah melanda masyarakat di dua wilayah Kota/Kabupaten tersebut. Eksploitasi air tanah sudah tidak memungkinkan, karena disamping sulitnya menemukan sumber air tanah, banyak mengandung zat kaput, perizinannya ketat, sebagian air tanah dangkal keruh dan sudah tercemari oleh rembesan limbah domestik, juga karena eksploitasi tanah yang berlebihan, telah menimbulkan konflik vertikal, sebagian masyarakat merasa dirugikan sebagai dampak dari eksploitasi air tanah tersebut. Dampak yang ditimbulkan dari eksploitasi air tanah adalah turunnya permukaan tanah, retaknya bangunan karena penurunan muka tanah di sekitar sumur bor tersebut.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis tertarik untuk meneliti dan mengkaji lebih jauh tentang kualitas air permukaan Sungai Palu, sebagai sumber yang paling representatif mengatasi krisis air bersih di Kota Palu dan Kabupaten Donggala, dengan debit yang cukup memadai. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi atau rujukan di dalam pemanfaatan dan pengelolaannya.

Di dalam sistem pengelolaan kualitas lingkungan air, khususnya air permukaan dibutuhkan pemantauan secara cermat terhadap unsur-unsur pencemar yang terakumulasi di dalam aliran. Pemodelan kualitas air berdasar indikator khusus pencemaran air sangat dibutuhkan dalam optimasi dan prediksi keadaan masa yang akan datang.

Materi yang akan dikaji di dalam penelitian ini meliputi:

- Tinjauan parameter kualitas air Sungai Palu, khususnya untuk senyawa nitrogen (nitrit), Apakah

kandungan nitrit di dalam badan air Sungai Palu memenuhi standar baku mutu, khususnya baku mutu air untuk air minum?

- Bagaimana model persebaran nitrit sepanjang Sungai Palu?
- Studi pemodelan matematis (regresi) hanya menyangkut model simulasi nitrit sepanjang aliran Sungai Palu berdasarkan jarak sampling dari muara sungai (Teluk Palu) dan berdasarkan waktu (bulan) pengambilan sampling.
- Model simulasi nitrit diambil satu model yang umum dipergunakan di dalam pemodelan kualitas air, yang hasilnya akurat, dapat dipercaya dan dipertanggung jawabkan.
- Validasi (kelayakan) model dilakukan agar model yang digunakan hasilnya menjadi akurat atau paling tidak mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

Penelitian ini dibatasi hanya pada "Pemodelan Fluktuasi Nitrogen (nitrit) sepanjang aliran Sungai Palu, dengan menggunakan model regresi sederhana sehingga dapat diketahui perubahan konsentrasi nitrogen berdasarkan jarak dari muara ke arah hulu dan berdasarkan waktu (bulan pengambilan sampel) air.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui parameter kualitas air Sungai Palu, khususnya senyawa nitrogen (nitrit), untuk menguji apakah kandungan nitrit tersebut memenuhi standar baku mutu air, khususnya baku mutu air untuk air minum dan untuk menggambarkan model fluktuasi/simulasi persebaran nitrit sepanjang Sungai Palu berdasarkan jarak sampling dari muara sungai (ditentukan pada garis pantai Teluk Palu) dan didasarkan pada waktu (bulan) pengambilan sample. Sampling atau penelitian lapangan dilakukan selama kurun waktu 6 (enam) bulan.

Sasaran yang ingin dicapai di dalam penelitian ini dalam hubungannya dengan model adalah; mengaplikasikan model regresi yang dapat dipergunakan memprediksi konsentrasi nitrit sepanjang aliran sungai

sehingga dapat dimulasikan berdasarkan jarak sampling dari muara dan waktu pengambilan sample (bulan). Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mempelajari pendekatan model regresi, dan menggambarkan fenomena fluktuasi nitrit di sepanjang aliran Sungai Palu, sehingga dapat dijadikan referensi di dalam mengeksploitasi atau mengkonsumsi air untuk dijadikan sebagai sumber air bersih penduduk Kota Palu dan Kabupaten Donggala.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pencemaran air

Dalam PP No. 82 Tahun 2001, yang dimaksud dengan pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Bila air sudah tercemar, maka akan ada perubahan pada air tersebut dari kondisi alamiahnya ke kondisi dimana secara fisik air tersebut akan berubah warna, berbau, dan berasa. Salah satu parameter kimia untuk menentukan air tersebut tercemar adalah parameter nitrogen (nitrat, nitrit dan amoniak). Baku mutu nitrogen yang dipersyaratkan di dalam PP No. 82 tahun 2001 untuk air Kelas I (kelas air yang dapat langsung dikonsumsi sebagai air minum) adalah; Nitrit = 0,06 mg/L, Nitrat = 10 mg/L dan Amoniak = 0,5 mg/L. Di dalam Keputusan Menteri Kesehatan No. 907 tahun 2002 tentang persyaratan kualitas air minum, kadar maksimum Nitrat yang diperbolehkan 50 mg/L, Nitrit 3 mg/L, dan Amoniak 1,5 mg/L.

2.2 Nitrogen dan kualitas air

Gambar 1 memperlihatkan siklus nitrogen pada air alami. Dari siklus terlihat bahwa nitrogen berpengaruh terhadap tingkat oksigen di dalam air. Juga dapat dilihat problem-problem kualitas air lainnya yang terjadi. Problem-problem tersebut dibagi ke

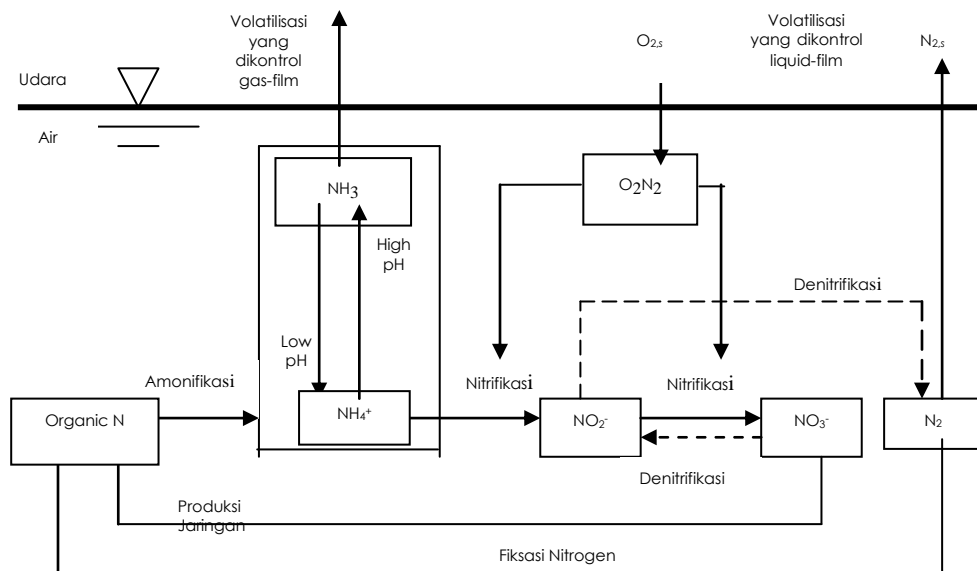
dalam dua kategori (Chapra, 1997). Kategori tersebut adalah nitrifikasi/denitrifikasi dan eutrofikasi. Untuk problem ini, nitrogen berperan sebagai penyebab problem pada problem nitrogen itu sendiri. Kategori kedua polusi nitrat dan toksisitas amonia. Di dalam kasus ini, nitrogen merupakan jenis polutan yang sesungguhnya. Semua problem yang muncul saling berhubungan antara satu dengan lainnya.

Dari Gambar 1, dapat diuraikan sebagai berikut;

- Nitrifikasi/denitrifikasi. Amonia mengakibatkan *loading* secara langsung dan mendekomposisi nitrogen organik yang dioksidasi di dalam dua langkah proses untuk membentuk nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-). Proses ini membutuhkan oksigen sehingga dapat mengakibatkan deplesi kadar oksigen di dalam air. Jika kondisi anaerobik, nitrat dapat direduksi

menjadi nitrit dan nitrit diubah ke dalam nitrogen bebas dengan cara denitrifikasi.

- Eutrofikasi. Karakteristik lainnya, nitrogen merupakan nutrisi yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu dapat bertindak sebagai pupuk yang dapat mempercepat pertumbuhan tanaman, proses ini disebut eutrofikasi.
- Polusi nitrat. Hasil akhir dari proses nitrifikasi adalah nitrat. Pada konsentrasi yang tinggi, nitrat di dalam air minum dapat mengakibatkan efek yang serius atau bahkan fatal terhadap bayi. Masalah seperti itu sering muncul pada kawasan pertanian sebagai sumber nitrat (*nonpoint source*) yang berasal dari penggunaan pupuk yang berlebihan, sehingga mengakibatkan nitrifikasi dari sumbernya (*point source*).



Gambar 1. Siklus nitrogen pada air alami. Garis putus-putus mengindikasikan reaksi denitrifikasi, kondisi berubah menjadi anaerobik. Walaupun tidak digambarkan pada diagram ini, produksi jaringan dari Nitrogen organik (*organic N*) dapat mempengaruhi kadar oksigen pada badan air (Chapra, 1997).

2.3 Dasar-Dasar Pemodelan Nitrogen (Nitrit) Pada Aliran Sungai

Pada dasarnya terdapat tiga bentuk fenomena yang berlaku dalam sistem lingkungan yaitu: fenomena fisik, kimiawi dan biologis.

a. Fenomena fisik

Fenomena fisik utama yang menyangkut kualitas air permukaan adalah perpindahan zat substansi oleh aliran air (*advection*) dan penyebaran zat (*diffusion*). Bila karakteristik dasar media dianggap relatif homogen dari satu titik pengukuran ke titik pengukuran yang lain, maka dapat diturunkan sebuah model dasar yang dapat diterapkan dalam perpindahan materi melalui suatu penampang sebagai berikut:

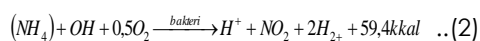
$$\frac{dc}{dt} = \frac{1}{A(x,t)} \frac{d}{dx} \left[E(x,t) A(x,t) \frac{dc}{dx} \right] - \frac{1}{A(x,t)} \frac{d}{dx} [Q(x,t)c] \dots (1)$$

Dimana:

- c = konsentrasi dari materi yang berpindah (ML^3)
- A = luas penampang aliran (L^2)
- E = koefisien dispersi ($L^2 T^{-1}$)
- Q = debit rata-rata aliran ($L^3 T^{-1}$)
- S = Jumlah materi yang sudah ada atau yang masuk dan dipindahkan ($ML^{-3} T^{-1}$)

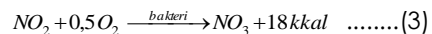
b. Fenomena Kimiawi dan Biologis dalam Siklus Nitrogen

Pada Gambar 1 di atas, siklus diawali dengan masuknya nitrogen dan amonia dari buangan domestik dan industri ke dalam badan air. Nitrogen organik mengalami reaksi hidrolisis menghasilkan amonia yang merupakan sumber makanan bakteri nitrogen. Proses oksidasi kemudian terjadi oleh bakteri *Nitrosomonas*, mengubah amonia menjadi nitrit dan selanjutnya bakteri *Nitrobacter* mengoksidasi nitrit menjadi nitrat, dengan reaksi sebagai berikut:



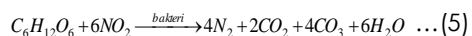
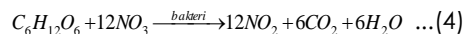
Setelah nitrit terbentuk, selanjutnya dioksidasi menjadi nitrat oleh

bakteri jenis *Nitrobacter*, dengan reaksi sebagai berikut:



Reaksi (2) dan (3) di atas lazim disebut sebagai proses **nitrifikasi**.

Selanjutnya dalam keadaan konsentrasi oksigen terlarut yang rendah terjadi reduksi nitrat menjadi nitrit diikuti lebih lanjut reduksi nitrit menjadi amonia dan gas nitrogen, dengan reaksi sebagai berikut:



Reaksi-reaksi tersebut menyediakan oksigen untuk mikroorganisme yang digunakan dalam keseimbangan materi organik tanpa mengganggu oksigen terlarut yang ada.

Dalam keadaan benar-benar anaerob reaksi nitrifikasi tidak dapat berlangsung. Hal tersebut membuktikan bahwa reduksi nitrat dapat meningkat dalam kondisi oksigen terlarut yang rendah (0 hingga 2 mg/l).

c. Model Statistik (Regresi)

Rumus umum persamaan regresi sederhana adalah :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \dots (6)$$

dimana : β_0 adalah intersept dan β_1 adalah slope dari garis. Persamaan (6) adalah model deterministik, (y) adalah variabel dependen yang secara spesifik ditentukan oleh variabel independen (x).

Persamaan (6) dapat dimodifikasi, sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \dots (7)$$

dimana; ε adalah kesalahan yang menunjukkan ketidaksesuaian (*discrepancy*) antara y yang diobservasi dengan Y yang diestimasi melalui persamaan garis ($\beta_0 + \beta_1 x$).

Persamaan (7) dapat dikatakan sebagai bentuk persamaan linear sederhana (*simple linear regression model*). Secara umum pengembangan

dari persamaan (7) yang mencakup lebih dari satu variabel independen disebut model regresi linear berganda (*multiple linear regression model*) yang dapat dirumuskan, sebagai berikut;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad \dots\dots\dots(8)$$

dimana : β adalah parameter model yang disebut koefisien regresi. Maksud "linear" dari persamaan di atas mengindikasikan bahwa variabel y berhubungan linear dengan koefisien regresi β , bukan karena y yang berhubungan linear dengan variabel independen x .

Sesuai dengan persamaan (8), ekspresi untuk observasi data individual dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i, \quad i=1,2,\dots,n \quad \dots\dots(9)$$

dimana; y_i adalah observasi i th untuk variabel dependen, x_{ik} adalah observasi k th untuk variabel independen, ε_i adalah kesalahan koresponding, dan n adalah total banyaknya observasi di dalam set data. Dalam bentuk matrik, model regresi linear digambarkan pada persamaan (9) dapat ditulis ulang sebagai berikut;

$$y = X\beta + \varepsilon \quad \dots\dots\dots(10)$$

yang mana;

$$y = \begin{bmatrix} y \\ y \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Tugas yang amat penting di dalam analisis regresi adalah mengestimasi koefisien regresi yang tidak diketahui β yang didasarkan pada set data yang diobservasi. Di dalam analisis regresi, koefisien yang tidak diketahui ditentukan dengan menggunakan prinsip *least square*.

Secara matematika, kriteria *least square* pada regresi linear dapat dinyatakan, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } D &= \sum_{i=1}^n e_i^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \dots\dots(11) \\ &= \sum_{i=1}^n [y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ik})]^2 \end{aligned}$$

dimana; D adalah ukuran dari *goodness-of-fit*, y_i adalah nilai yang diobservasi pada response i th, dan \hat{y}_i adalah nilai yang dihitung pada response i th yang berhubungan dengan nilai-nilai spesifik untuk $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$, diberikan sebagai $\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ik}$.

3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah;

- Studi kepustakaan; melakukan studi literatur yang berhubungan dengan rencana penelitian.
- Observasi dan pengambilan data lapangan, meliputi; pengamatan visual di lapangan, mencakup aktivitas-aktivitas manusia di sepanjang DAS Sungai Palu yang termasuk dalam area penelitian, sampling air pada tiga titik sampling, pengamatan titik pertemuan sungai dengan anak sungai atau saluran pembuangan (sewage) limbah domestik, pengukuran debit (kecepatan aliran, kedalaman dan luas penampang sungai), mengamati karakteristik batuan sepanjang DAS sungai Palu.
- Analisis laboratorium; meliputi analisis kandungan kimia terutama senyawa nitrogen (amonia, nitrat dan nitrit), kebutuhan, BOD, COD.
- Pengolahan data dan analisis data berdasarkan bulan (Maret – Agustus 2005) untuk semua data pengukuran, meliputi; pemodelan simulasi kandungan nitrogen pada tiga titik pengambilan sampel (menurut *reach* penelitian) selama enam bulan (April – September 2005) dengan menggunakan model regresi linear sederhana pada program aplikasi

Excel atau SPSS, analisis uji kelayakan untuk kalibrasi dan validasi model. Data yang telah dianalisis, kemudian dibahas berdasarkan pengetahuan dan kemampuan tim peneliti, agar hasil penelitian tersebut dapat dipahami.

- Penyusunan laporan, sebagai hasil akhir dari penelitian, di dalamnya akan diberi kesimpulan dan saran (rekomenasi) terhadap apa yang telah diteliti.
- Instrumen-instrumen penelitian yang digunakan di dalam penelitian ini;

Instrumen lapangan digunakan antara lain adalah; GPS, alat sampling air, kamera digital, alat tulis menulis, buku lapangan, kompas geologi, lakban, meteran, pelampung, *stop watch*, pete topografi, peta geologi, dan sebagainya. Instrumen laboratorium; alat tulis menulis, alat dan bahan kimia untuk analisis kandungan nitrogen (nitrit) dengan menggunakan metode *colorimetric*.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Sebaran dan Fluktuasi Nitrogen (Nitrit) Sungai Palu

Hasil pengamatan laboratorium terhadap kandungan nitrit, air sungai Palu, yang dilakukan pada bulan April – September 2005, pada tiga titik dengan jarak sampling dari muara dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari tabel tersebut, terlihat bahwa, semakin jauh jaraknya dengan garis pantai (muara), konsentrasi nitrit semakin menurun. Hal tersebut dipengaruhi terutama antara lain oleh;

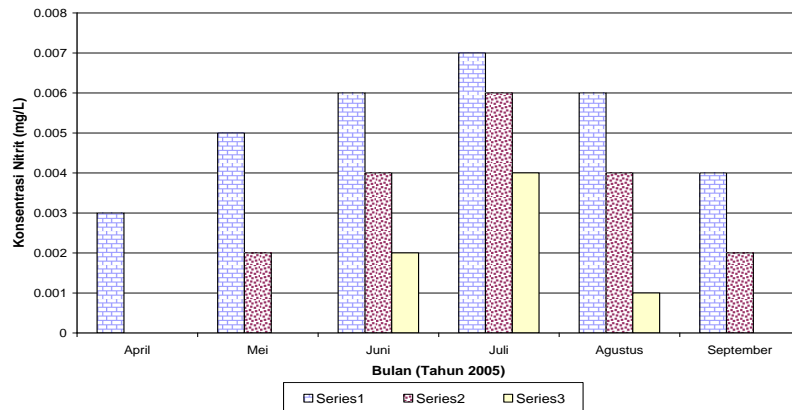
- 1) Sistem saluran pembuangan; limbah buangan rumah tangga akan menambah konsentrasi nitrit.
- 2) Faktor penguraian nitrogen dan hubungannya dengan udara bebas. Amoniak bukan senyawa yang stabil sebagaimana halnya dengan nitrat. Nitrit dan nitrat dapat terakumulasi di dalam air dalam waktu yang lama sedangkan amoniak tidak.
- 3) Sungai Palu semakin ke muara atau semakin dekat dengan garis pantai sungai tersebut semakin tercemar. Semakin tercemar suatu sungai (air), semakin tinggi kadar nitritnya.
- 4) Sedangkan berdasarkan waktu (bulan), konsentrasi N (nitrit), tertinggi terjadi pada bulan Juli 2005 dan terendah pada bulan April 2005. Hal tersebut sangat dipengaruhi oleh debit air atau iklim (curah hujan). Semakin tinggi curah hujan semakin tinggi tingkat pencemaran, hal tersebut disebabkan oleh tanah yang mengandung unsur-unsur hara yang kaya akan nitrogen akan terbawa atau tertransportasi oleh air.

Tabel 1. Hasil Pengamatan Laboratorium Konsentrasi Nitrit Berdasarkan Jarak dan Waktu Pengambilan (April – Sept. 2005)

	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
Jarak dari muara (Tel. Palu)	500 m	2500 m	5000 m
Waktu Pengambilan	Konsentrasi Nitrit (mg/L)	Konsentrasi Nitrit (mg/L)	Konsentrasi Nitrit (mg/L)
April	0,003	0 (nihil)	0 (nihil)
Mei	0,005	0,002	0 (nihil)
Juni	0,006	0,004	0,002
Juli	0,007	0,006	0,004
Agustus	0,006	0,004	0,001
September	0,004	0,002	0 (nihil)

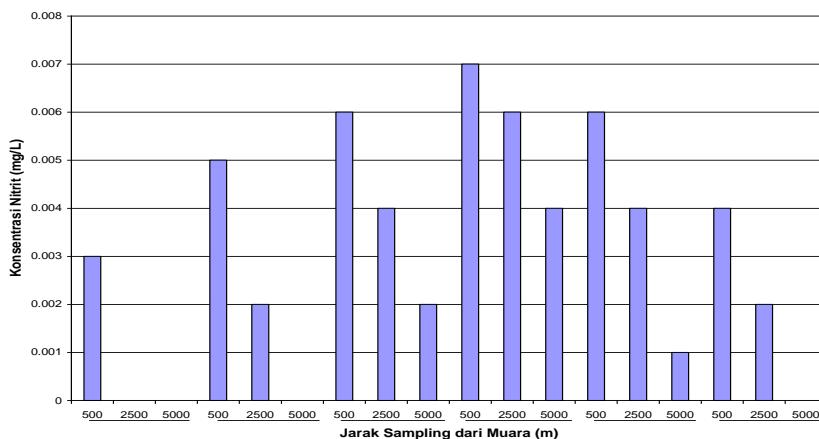
Sumber; Data Primer, 2005

GRAFIK KONSENTRASI NITRIT PADA MASING-MASING TITIK PENGAMATAN



Keterangan ; Series = Stasiun; (Series 1 = 500 m; Series 2 = 2500 m; Series 3 = 5000 m) dari muara.

Gambar 2. Grafik Fluktuasi Konsentrasi Nitrit Sungai Palu dari Bulan April – September 2005.



Keterangan; (Jarak 500 m , 2500 m dan 5000 m, dari bulan April – September)

Gambar 3. Grafik hubungan antara jarak sampling dari muara (Teluk Palu) dengan perubahan konsentrasi Nitrit.

4.2 Analisis Korelasi Regresi Linear Sederhana dengan Satu Variabel

Setiap kejadian atau peristiwa pasti ada faktor yang berhubungan atau yang menyebabkan terjadinya kejadian tersebut. Termasuk di sini adalah apakah faktor perubahan konsentrasi nitrit ada hubungannya atau dipengaruhi dengan faktor-faktor; jarak

sampling dari muara (Teluk Palu) dan waktu (bulan) pengambilan sampel, dan berapa besar faktor-faktor tersebut mempengaruhi perubahan konsentrasi nitrit?. Faktor konsentrasi nitrit adalah faktor dependen (Y) dan faktor-faktor seperti; jarak sampling dari muara (Teluk Palu) dan waktu (bulan) pengambilan sampel adalah faktor independen (X).

Berikut ini adalah analisis dari masing-masing hubungan variabel penjelas dengan variabel dependennya.

a. Hubungan perubahan konsentrasi nitrogen (nirit) dengan jarak sampling dari muara (Teluk Palu)

Dari Gambar 3, terlihat bahwa bila jarak sampling dari muara meningkat, konsentrasi Nitrit cenderung menurun.

Dari *output* komputer (hasil perhitungan) dengan menggunakan persamaan regresi sederhana. Diperoleh persamaan regresi sederhana untuk bulan April untuk tiga titik sampling (500 m, 2500m, dan 5000 m), yaitu;

$$Y = 2,705.10^{-3} - 6,38.10^{-7} X$$

Variabel X adalah jarak sampling dari muara dan variabel Y adalah konsentrasi Nitrit pada bulan April.

1) Korelasi sederhana serta ukuran lainnya, analisisnya dan uji kelayakan garis regresi

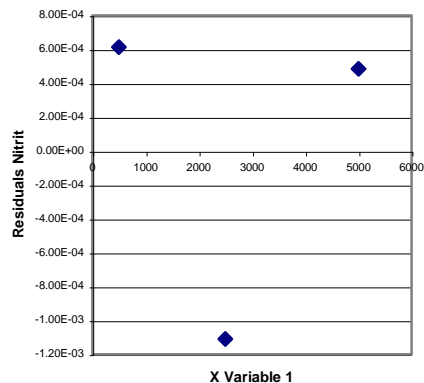
Korelasi sederhana (*r*): dalam statistik, korelasi menggambarkan keeratan hubungan antara variabel X dan Y, atau dalam hal ini keeratan hubungan antara jarak sampling dari muara sungai (Teluk Palu) dengan konsentrasi Nitrit.

Dari hasil analisis *output* regresi yang dihitung, kolom **Multiple R**, besarnya adalah 0,832, maka korelasi antara variabel jarak sampling dari muara sungai (Teluk Palu) dengan konsentrasi Nitrit adalah 0,832. Hubungan antara keduanya berkorelasi dengan baik (hubungannya erat). Angka korelasi sebesar 0,6 ke atas dianggap cukup memadai untuk menggambarkan eratnya hubungan antara variabel. Sedangkan angka 0,6 kebawah dianggap variabel-variabel tidak berkorelasi dengan baik

R Square (koefisien determinasi), didapat angka sebesar 0,693. Ini berarti 69,3% variasi atau fluktuasi sebaran Nitrit pada Sungai Palu bisa dijelaskan oleh variasi jarak sampling dari muara sungai (Teluk Palu), sedangkan sisanya 31,70 % dijelaskan oleh variasi-variasi lainnya.

Untuk menguji kelayakan garis regresi digunakan analisis residual untuk

mengevaluasi kecocokan atau ketepatan suatu model regresi, yaitu dengan cara memplot residual dari persamaan regresi dengan variabel bebasnya.



Gambar 4. Hasil plot residual untuk pengujian kelayakan persamaan regresi antara konsentrasi Nitrit dengan jarak sampling dari muara sungai untuk bulan April 2005.

Dari gambar residual di atas tampak bahwa titik-titik plot (residual) berpancar baik di atas (+) maupun di bawah (-) titik netral (0) untuk berbagai X yang berbeda, dan tidak menunjukkan suatu pola tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa garis regresi dan persamaan regresi sederhana di atas dianggap cocok untuk meramalkan hubungan antara variabel jarak sampling dari muara (Teluk Palu) dengan variabel konsentrasi Nitrit.

2) Analisis kelayakan koefisien regresi

Pengujian koefisien regresi bertujuan untuk menguji apakah jarak sampling dari muara sungai (Teluk Palu) berpengaruh terhadap perubahan konsentrasi Nitrit sepanjang aliran Sungai Palu. Analisis uji dilakukan dengan menggunakan uji *t*. Dengan menggunakan tingkat signifikansi 5 % ($\alpha = 0,05$), secara umum didapatkan bahwa "jarak sampling dari muara (Teluk Palu) berpengaruh nyata terhadap perubahan konsentrasi Nitrit sepanjang aliran Sungai Palu".

3) Prediksi variabel dependen (Y)

Dari persamaan regresi sederhana $Y = 2,705.10^{-3} - 6,38.10^{-7} X$, bisa diprediksi besaran Y (konsentrasi Nitrit) untuk besaran X tertentu (Jarak dari muara sungai; dimana $X=0$ dihitung pada garis pantai Teluk Palu), hasilnya dapat dilihat pada Table 2.

Tabel 2. Hasil Prediksi Konsentrasi Nitrit (Y Prediksi) Berdasarkan Jarak dari Muara Sungai Teluk Palu (April 2005)

Variabel X atau Jarak dari muara (m)	Y Prediksi (mg/L)
0	2.71E-03
500	2.39E-03
1000	2.07E-03
1500	1.75E-03
2000	1.43E-03
2500	1.11E-03
3000	7.91E-04
3500	4.72E-04
4000	1.53E-04
4500	-1.66E-04
5000	-4.85E-04

Dari tabel 2 terlihat bahwa pada jarak 4500 meter dari muara sungai, konsentrasi Nitrit bernilai negatif (-), artinya konsentrasi nitrat pada jarak tersebut nihil atau mendekati 0 atau = 0. Tabel 3 berisikan persamaan regresi konsentrasi nitrit pada bulan Mei 2005 hingga September 2005.

Tidak semua konsentrasi Nitrit dari Bulan Mei – September diuraikan satu

persatu seperti di atas, namun dapat disimpulkan bahwa "pada bulan-bulan tersebut faktor jarak sampling dari muara akan memberikan nilai konsentrasi Nitrit yang berbeda secara signifikan, semakin ke arah hulu kandungan Nitrit air sungai Palu semakin kecil, hingga nihil (= 0 mg/L)".

b. Hubungan perubahan konsentrasi nitrit terhadap waktu (bulan ke-) pengambilan sampel (April – September 2005).

Dari Tabel 1, dapat digambar grafik hubungan konsentrasi Nitrit dengan waktu (bulan ke-) pengambilan sampel pada jarak 500 meter dari Bulan April – September 2005.

Dari Gambar 5, terlihat bahwa waktu (bulan) pengambilan sampel, mempengaruhi fluktuasi konsentrasi nitrit pada jarak 500 meter dari muara. Dengan waktu (bulan) sampling yang berbeda akan memberi konsentrasi Nitrit yang berbeda pula. Itu artinya bahwa waktu (bulan) pengambilan sampel juga berpengaruh terhadap fluktuasi konsentrasi Nitrit.

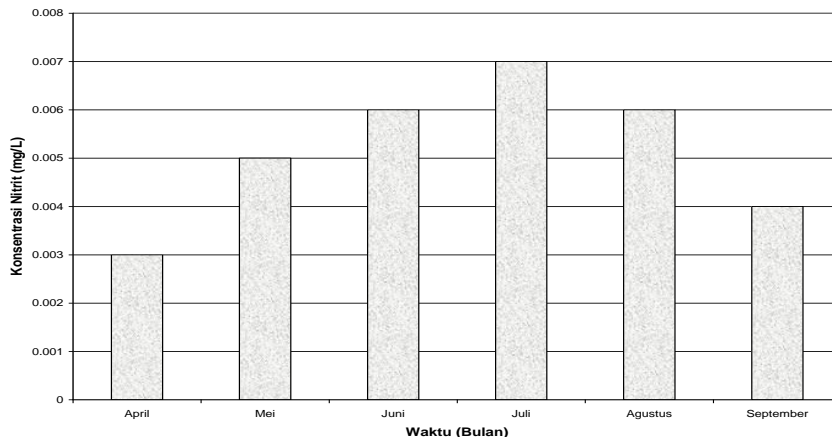
Dengan menggunakan persamaan regresi sederhana, diperoleh persamaan regresi sederhana untuk jarak 500 meter dari muara, yaitu;

$$Y = 0,00350 + 0,000257 X$$

Variabel X adalah waktu (bulan) pengambilan sampel dan variabel Y adalah konsentrasi Nitrit pada jarak 500 m dari muara.

Tabel 3. Persamaan Regresi Konsentrasi Nitrit dari Bulan Mei – September 2005, yang Didasarkan Atas Jarak Sampling dari Muara Sungai.

Bulan	Persamaan Regresi	Keterangan
April	$Y = 2,705.10^{-3} - 6,38.10^{-7} X$	X bertambah, Y menurun
Mei	$Y = 2,705.10^{-3} - 6,39.10^{-7} X$	X bertambah, Y menurun
Juni	$Y = 6,361.10^{-3} - 8,85.10^{-7} X$	X bertambah, Y menurun
Juli	$Y = 7,459.10^{-3} - 6,72.10^{-7} X$	X bertambah, Y menurun
Agustus	$Y = 6,639.10^{-3} - 1,11.10^{-6} X$	X bertambah, Y menurun
September	$Y = 4,361.10^{-3} - 8,85.10^{-7} X$	X bertambah, Y menurun

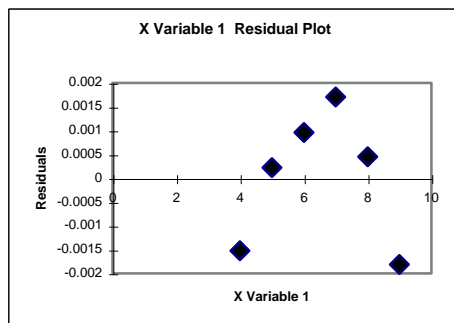


Gambar 5. Grafik hubungan konsentrasi Nitrit dengan waktu (bulan ke-) pengambilan sampel pada jarak 500 meter dari Bulan April – September 2005

1) Korelasi sederhana serta ukuran lainnya, analisisnya dan kelayakan garis regresi

Korelasi sederhana (r), diperoleh **Multiple R** = 0,3268, maka korelasi antara variabel jarak sampling dari muara sungai (Teluk Palu) dengan konsentrasi Nitrit adalah 0,3268. Ini menandakan bahwa hubungan antara keduanya tidak berkorelasi dengan baik (hubungannya tidak erat), karena angka korelasinya < 0,6

R^2 Square = 0,1067, artinya 10,67% variasi atau fluktuasi sebaran Nitrit pada Sungai Palu bisa dijelaskan oleh variasi waktu (bulan) pengambilan sampel, sedangkan sisanya 89,33 % dijelaskan oleh variasi-variasi lainnya.



Gambar 6. Hasil plot residual untuk pengujian kelayakan persamaan regresi antara konsentrasi Nitrit dengan waktu (bulan ke) pengambilan sampel untuk jarak 500 m.

Dari gambar 6, tampak bahwa titik-titik plot (residual) tidak berpancar baik di atas (+) maupun di bawah (-) titik netral (0) untuk berbagai X yang berbeda. Juga terlihat bahwa pancaran titik tersebut menunjukkan suatu pola tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa garis regresi dan persamaan regresi sederhana di atas dianggap kurang cocok untuk meramalkan hubungan antara variabel waktu (bulan) sampling dengan variabel konsentrasi Nitrit.

2) Analisis kelayakan koefisien regresi

Analisis uji dilakukan dengan menggunakan uji t . Karena t hitung (0,6916) lebih kecil dari pada t tabel (6,314), maka H_0 diterima, dengan demikian "waktu (bulan) sampling dari muara (Teluk Palu) tidak berpengaruh nyata terhadap perubahan konsentrasi Nitrit sepanjang aliran Sungai Palu".

3) Prediksi variabel dependen (Y)

Dari persamaan regresi sederhana $Y = 0,00350 + 0,000257 X$, bisa diprediksi besaran Y (konsentrasi Nitrit) untuk besaran X tertentu {waktu (bulan) sampling} ; dimana $X=1$ dihitung pada bulan Januari 2005), hasilnya dapat dilihat pada Table 4.

Dari tabel 4, terlihat bahwa variable waktu, bulan, konsentrasi Nitrit semakin meningkat. Walaupun hasilnya

secara keseluruhan mendekati nilai aslinya (hasil pengamatan), namun demikian hasil uji kelayakan regresi, persamaan regresi tersebut di atas tidak dapat dijadikan jaminan untuk mengetahui konsentrasi Nitrit di Sungai Palu.

Dari hasil perhitungan (analisis regresi), hasilnya tidak ada yang menunjukkan kelayakan regresi berdasarkan uji t dan uji residual. Dengan demikian variabel waktu (bulan) pada jarak-jarak 500 m, 2000 m, dst. tidak memberikan pengaruh nyata pada fluktuasi nitrogen di Sungai Palu.

4.3 Kualitas Air Sungai Palu Berdasarkan Parameter Nitrogen

Hasil pengamatan laboratorium menunjukkan bahwa kadar nitrogen (nitrit) masih jauh di bawah ambang batas yang dipersyaratkan oleh pemerintah melalui PP. No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Tabel 5).

Nitrit = 0,06 mg/L (hasil pengamatan berkisar 0 – 0,007 mg/L). Dengan merujuk kepada PP. No. 82 Tahun 2001, kriteria air permukaan Kelas 1, dengan tidak memperhatikan faktor nilai toleransi (3 sampai 10), maka kualitas air sungai Palu sudah tergolong tercemar ringan.

Demikain juga menurut Keputusan Menteri Kesehatan Kep. No. 907/MENKES/2002 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, Nitrit yang diperbolehkan 3 mg/L, masih dalam kategori air yang layak dikonsumsi atau untuk keperluan minum setelah diolah atau dimasak terlebih dahulu.

4.4 Analisis Sumber-Sumber Pencemaran Nitrogen (Nitrit)

Dari pengamatan lapangan selama enam bulan dapat diperkirakan bahwa sumber-sumber Nitrit utama berasal dari aktivitas pertanian, perkebunan dan peternakan yang ada daerah aliran sungai (DAS) terutama Kawasan Dolo ke arah hulu. Daerah aliran Sungai Palu adalah daerah yang subur dan sangat cocok untuk areal pertanian. Penggunaan pupuk yang mengandung nitrogen untuk persawahan dan perkebunan merupakan sumber utama Nitrit. Tanah yang telah tercemari Nitrogen (nitrit) bila terjadi hujan sebagian tererosi oleh air dan masuk ke Sungai Palu. Sumber lainnya berasal dari buangan limbah penduduk baik yang langsung ke sungai Palu, maupun yang melalui saluran-saluran pembuangan terutama penduduk di wilayah Palu Barat dan Palu Selatan.

Tabel 4. Hasil Prediksi Konsentrasi Nitrit (Y Prediksi) Berdasarkan Waktu (Bulan) Pengambilan Sampel untuk Jarak 500 dari Muara.

Variabel X atau Bulan ke-	Y Prediksi (mg/L)	Variabel X atau Bulan ke-	Y Prediksi (mg/L)
1	0.003757	9	0.005813
2	0.004014	10	0.006070
3	0.004271	11	0.006327
4	0.004528	12	0.006584
5	0.004785	13	0.006841
6	0.005042	14	0.006841
7	0.005299	15	0.007098
8	0.005556		

Sumber : Hasil Perhitungan, 2005

Tabel 5.. Kualitas Air Sungai Palu Berdasarkan Parameter Nitrit.

Parameter	Hasil Pengamatan Laboratorium	Yang Dianjurkan/Dipersyaratkan Menurut Peraturan	
		PP No. 82 Tahun 2001 (Air Kelas I)	Kep. No. 907/Menkes/VII/2002
Nitrit	0 – 0,007 mg/L	0,06 mg/L	3 mg/L

4.5 Referensi Pemanfaatan Air Berdasarkan Parameter Nitrogen (Nitrit) dan Parameter Lainnya.

Berdasarkan PP. No. 82 Tahun 2001, tentang pembagian air permukaan berdasarkan peruntukannya, maka air di Sungai Palu, masih berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber air bersih (minum dan MCK), dan dapat dimanfaatkan untuk semua kelas air (kelas 1 sampai 4), baik untuk irigasi (pertanian), rekreasi, dan sebagainya. Namun pada kondisi-kondisi tertentu, dengan memperhatikan faktor jarak dan musim (waktu), kandungan Nitrit melebihi ambang batas yang dipersyaratkan.

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan laboratorium bahwa secara fisik (bau, warna dan rasa) dan pH; air tersebut sudah tidak layak dikonsumsi untuk air minum, sebelum diolah terlebih dahulu. Tingkat kekeruhan air sangat tinggi terutama pada saat musim hujan (banjir).

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

- Kandungan Nitrit dalam air Sungai Palu masih memenuhi standar Baku Butu yang dipersyaratkan sebagai air yang layak dikonsumsi untuk keperluan air minum, tetapi perlu pengolahan terlebih dahulu sebelum diminum. Dari hasil pengamatan, pada bulan Juli 2005 Nitrit sebesar 0,007 mg/L melampaui ambang batas air Kelas I, namun masih dalam batas toleran.
- Simulasi nitrit memperlihatkan bahwa; pada jarak yang semakin dekat dengan garis pantai (Teluk Palu) kandungan Nitrit semakin tinggi, semakin ke arah hulu semakin kecil. Konsentrasi Nitrit tertinggi terjadi

pada bulan Agustus dan Juli, terendah pada bulan April. Hal ini terutama dipengaruhi oleh curah hujan dan waktu tanam (pemupukan) bagi petani di daerah hulu.

- Berdasarkan hasil analisis regresi sederhana, faktor jarak dari muara sungai (Teluk Palu) berhubungan sangat erat atau berkorelasi dengan baik dengan kenaikan/penurunan konsentrasi Nitrit (korelasinya mencapai 0,86, lebih besar dari 0,6), bahkan koefisien determinasinya mencapai 90%. Sedangkan variabel waktu (bulan) pengambilan sampel, tidak memberikan pengaruh nyata terhadap perubahan konsentrasi Nitrit sepanjang aliran Sungai Palu, hubungannya tidak erat (korelasinya hanya sekitar 0,32, lebih kecil dari 0,6, dan koefisien determinasinya hanya sekitar 10,67%).

5.2 Saran-saran

Perlu penelitian lebih lanjut mengenai Nitrogen, BOD dan COD terhadap variabel waktu dan jarak, dengan waktu penelitian yang lebih lama dan jarak pengambilan sampel dari muara yang cukup jauh ke arah hulu, sehingga bisa diketahui secara akurat besarnya tingkat pencemaran Nitrogen dan zat pencemar lainnya.

6. Daftar Pustaka

- Aswadi, Muhammad, 2001, *Peramalan Penggunaan Air dengan Menggunakan Model Regresi dan Cascade* (Studi Kasus PDAM Kota Bandung), Tesis Magister, Teknik Lingkungan ITB, Bandung.
- Aviatun, Evi, 1994, *Penerapan Model Finite Difference dari Thomann Untuk Mengetahui Penyebaran N*

- Organik dan Nitrat di Waduk Cirata, Laporan Tugas Akhir, Jurusan teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.
- Chapra, Steven C., 1997, *Surface Water-Quality Modeling*, McGraw-Hill International Edition, New York, St. Louis, San Francisco, Tokyo, Toronto.
- Janson, Debby and Allen, Susan E., 2002, *A Two-Dimensional Nitrogen and Carbon Flux Model in a Coastal Upwelling Region*, A Journal of AGU, Global Biogeochemical Cycles, Vol. 16, No. 1, 10.1029/2001GB001451, Copyright by the American Geophysical Union.
- James, A., 1993, *An Introduction to Water Quality Modeling*, Second Edition, John Wiley & Sons, Chichester, New York, Singapore.
- Jansen, Roar A., et al., 2000, *Integrated River Basin Management Modeling*, Water Use and Water Quality Simulation, Jurnal Internasional, DHI Water & Environment, Caritiba, Brasil.
- Jobson, Harvey E., 2001, *Modeling Water Quality in Rivers Using the Branched Lagrangian Transport Model (BLTM)*, International Journal, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Roston, Virginia, USA.
- Krenkel, Peter A., Nocotny, Vladimir, 1980, *Water Quality Management*, Academic Press, Inc. LTD., New York.
- Mays, Larry W., Yeoun-Koung Tung, 1992, *Hydrosystems Engineering and Management*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Muller-Wohlfeil, D.-I., et al., 2002, *Estimating Annual River Discharge and Nitrogen Loading to Danish Coastal Water Based on Multiple Regression*, National Environmental Research Institute, Vejlsøvej 25. DK-8600 Silkeborg, Denmark.
- Orlob, Gerald T., 1983, *Mathematical Modeling of Water Quality: Streams, Lakes and Reservoirs*, International Institute for Applied System Analysis, John Wiley & Sons, Chichester, New York, Singapore.
- Vassiljev, A., Grimvall, A., & Larsson, M., 2000, *Modeling of the Water Flow and Quality in Rivers*, Proceeding of the Symposium to the 40th Anniversary of Environmental at Tallinn Technical University, 24-26 September, Tallinn.
- Santoso, Singgih, 1998, *Aplikasi Excel dalam Statistik Bisnis*, Penerbit PT Elex Media Komputindo, Kelompok Gramedia Jakarta.
- Seitzinger, Sybil P., et al., 2002, *Nitrogen Retention in Rivers: Model Development and Application to Watersheds in the Northeastern U.S.A.*, Biochemistry Journal, Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherland.
- Tchobagnoglous, G., 1985, Schroeder E. D., 1985, *Water Quality*, Addison-Wesley, Publishing Company, Messachussts.
- Thomann, Robert V., 1987, *Principless of Surface Water Quality Modeling and Control*, Harper & Row Publisher, Inc., New York.
- Vousta, D., etc., 2001, *A Study of Surface Water Quality in Macedonia, Greece: Speciation of Nitrogen and Phosphorus*, Journal, Water, Air and Soil Pollution, Kluwer Academic Publishers. Netherlands.